

考虑省间经济差异的区域电力市场调节分析

王丽萍, 李新武, 谢维, 赵璧奎, 张验科

(华北电力大学可再生能源学院, 北京 102206)

摘要: 我国区域电力市场中, 普遍存在各省经济发展不平衡和省间电价差异较大的问题, 这是区域电力市场建设需要有效解决的一个重要问题。运用庇古定理, 采取“税收-补贴”的市场调节措施, 向低成本省的发电商征税, 建立区域电力平等基金, 并利用基金向低购买力省的供电公司提供补贴, 以省为节点, 建立区域电力市场单时段市场交易模型。算例分析表明, 通过市场调节能够提高高成本省的发电商出力 and 市场占有率, 提高低购买力省的供电公司购电功率 and 市场占有率, 在一定程度上保护了高成本省的发电商 and 低购买力省的供电公司的市场竞争力, 解决了存在省间经济差异的区域电力市场失灵问题。

关键词: 区域电力市场; 省间经济差异; 市场失灵; 市场调节; 庇古定理

Analysis on regional power market adjustment considering the economic differences between the provinces

WANG Li-ping, LI Xin-wu, XIE Wei, ZHAO Bi-kui, ZHANG Yan-ke
(Renewable Energy School, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: In China's regional power markets, the prevailing imbalance in the economic development of provinces and a large difference of electricity prices between the provinces are important issues which need to effectively solve in building a regional power market. The paper uses the Pigou theorem and applies its market adjustment measure "tax- subsidies" to levy a tax on generators in the low-cost provinces, to establish the regional electricity equal funds, and to use the funds to subsidize the power supply companies in the low purchasing power provinces. To the provinces for the node, a single time's regional power market transaction model is established. An example analysis shows that the market adjustment measure could improve the generators' output and market share in the high-cost provinces, and improve the power supply companies' purchase of electric power and market share in the low purchasing power provinces, to a certain extent, it could protect market competitiveness of the high-cost provincial generators and the low purchasing power provincial power supply companies, and solve the problem of the regional power market failures considering the economic differences between the provinces.

Key words: regional power market; economic differences between the provinces; market failures; market adjustment; Pigou theorem

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)02-0022-05

0 引言

区域电力市场的建设是我国电力工业市场化改革的重要组成部分。区域电力市场的建立将实现区域范围内电力资源的优化配置, 打破过去电力电量平衡的省间壁垒, 改变省(含自治区、直辖市, 下同)范围内的电价形成机制, 进而在区域范围内, 通过竞价上网和竞价购电形成上网电价^[1]。

存在省间经济差异的区域电力市场, 在打破省间壁垒、开放区域市场的同时将会产生两个问题: 其一, 由于各省之间经济发展不平衡导致的发电成本省间差异, 使得不同省的发电机组在参与区域电力市场竞争时并未处在同一条起跑线上, 高成本省

的发电机组处于竞争的不利地位; 其二, 将会导致低电价省的上网电价上扬, 进而使销售电价上涨, 并有可能超出用户的电价承受能力, 对其整体经济产生负面影响, 在电力供应紧缺时, 甚至可能由于经济欠发达省的电价承受能力不足而导致其买不到电^[2]。以上问题将会导致区域电力市场失灵, 即区域内省际失衡、省间不公平和社会整体福利损失, 不利于区域经济均衡协调发展。

当市场失灵时, 需要政府进行干预, 这就是著名的庇古(Pigou)定理解决市场失灵问题的主要手段, 即借助于政府的“税收-补贴”方案对市场进行调节和修正, 引导市场竞争朝增进社会福利的方向发展, 实现市场效益最大化^[3-4]。

本文针对区域内各省经济发展不平衡和省间电价存在较大差异的情况, 运用庇古定理, 采取“税收-补贴”的市场调节措施, 对区域电力市场进行调节和修正, 以解决存在省间经济差异的区域电力市场失灵问题。

1 区域电力市场交易分析

1.1 基本假设

本文研究存在省间经济差异的区域电力市场交易问题, 假设区域电力市场为批发竞争的电力市场:

- 1) 实行厂网分开, 发电商竞价上网;
- 2) 输配分开, 输电网络对所有的市场成员开放, 无歧视的输送电能;
- 3) 配售尚不分开, 供电公司拥有配电网络及相应的供电专营区, 实行配电网一体化垄断经营;
- 4) 实行单一制电价;
- 5) 本文只针对电力库日前市场的某个单时段(设为1h)全电量竞争, 不考虑中长期合约交易;
- 6) 以省为节点, 同一省内的市场成员按同一节点对待, 不考虑省内差异。

1.2 区域电力市场交易模型

在输配分开的区域电力市场运营环境中, 发电商竞价上网, 供电公司竞价购电, 它们构成了市场竞争的主体^[5]。

发电商竞价上网的目标是发电利润最大化, 假设发电商的边际成本函数为:

$$MC_i(p_i) = \alpha_i c_0 + c_1 p_i \quad 0 \leq p_i \leq \bar{p}_i \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

式中: p_i 为发电商出力; α_i 为发电商的边际发电成本特性参数, 是一个大于零的实数; c_0 、 c_1 分别为发电商边际发电成本的常数项系数和一次项系数, $c_0 > 0$, $c_1 > 0$; \bar{p}_i 为发电商最大出力。

当发电商出力为 p_i 时, 其发电成本函数为:

$$C_i(p_i) = \alpha_i c_0 p_i + 0.5 c_1 p_i^2 \quad 0 \leq p_i \leq \bar{p}_i \quad (2)$$

供电公司的收益由供电专营区终端用户的售电业务取得, 而其运营成本则包括竞价购电成本和供电系统运营成本。供电公司竞价购电的目标是运营收益最大化, 不计供电公司的竞价购电成本, 其边际运营收益为:

$$MS_j(w_j) = \beta_j s_0 + s_1 w_j \quad 0 \leq w_j \leq \bar{w}_j \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中: w_j 为供电公司的购电功率; β_j 为供电公司在不计购电成本时的边际运营收益特性参数, 是一个大于零的实数; s_0 、 s_1 分别为供电公司不计购电成

本时边际运营收益的常数项系数和一次项系数, $s_0 > 0$, $s_1 < 0$; \bar{w}_j 为供电公司的购电功率上限。

当供电公司的购电功率为 w_j 时, 不计竞价购电成本的供电公司运营收益为:

$$S_j(w_j) = \beta_j s_0 w_j + 0.5 s_1 w_j^2 \quad 0 \leq w_j \leq \bar{w}_j \quad (4)$$

假设某区域电力市场电力库(power pool)中有 m 个独立发电商、 n 个独立供电公司参与日前市场竞价交易。发电商按边际成本报价可以实现发电利润最大化, 供电公司按边际收益报价可以实现运营收益最大化。计及省间输电费用, 不考虑省间联络线潮流约束和网损, 单时段市场交易模型为:

$$\max \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [S_j(w_j) - C_i(p_i) - k_{ji} x_{ji}] \quad (5)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^m p_i = \sum_{j=1}^n w_j \quad \forall i, j \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ji} = p_i \quad \forall i \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ji} = w_j \quad \forall j \quad (8)$$

$$0 \leq p_i \leq \bar{p}_i \quad \forall i \quad (9)$$

$$0 \leq w_j \leq \bar{w}_j \quad \forall j \quad (10)$$

$$x_{ji} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (11)$$

式中: k_{ji} 为输电价格, 本文假设输电价格为固定的, 此时输电费用由输电交易量的线性函数表示; x_{ji} 为供电公司 j 向发电商 i 购买的功率。

上述市场交易模型中, 式(5)表示以交易的社会总福利最大为目标函数; 约束条件式(6)表示市场供需平衡; 式(7)表示发电商交易量约束; 式(8)表示供电公司交易量约束; 式(9)表示发电商出力约束; 式(10)表示供电公司的购电功率约束; 式(11)严格限制了脚标组 i, j 的意义, 即 j 向 i 购电, 输电费用由供电公司 j 承担。

1.3 考虑省间经济差异的区域电力市场交易模型

通过模型(式(7)~(13))可以实现区域电力市场交易, 但就区域内各省经济发展不平衡和省间电价存在较大差异的情况而言, 这种均衡将会产生区域电力市场失灵问题。

为了有效解决市场失灵问题, 庇古指出“可能采取的鼓励与限制的最显著的形式当然是津贴与税收”^[3], 提出了著名的“庇古税”方案, 即“税收-补贴”的市场调节措施。

区域电力市场中, 省间经济差异具体表现在两个方面: 一是发电商的发电成本; 二是电力用户的电价承受能力。在批发竞争的市场模式下, 由于用

户不参与市场竞争，供电公司代表用户参与市场竞争购电，并且有义务以基于用户电价承受能力的销售电价向用户售电，同时开展电力普遍服务，因此，可以将电力用户的电价承受能力等价于供电公司的购买力，保护了供电公司市场竞争力也就确保了电力用户能够在电价承受能力范围内购电。

在本文假设的区域电力市场中，电力监管机构可以利用事先确定的规则对低成本省的发电商征税，建立区域电力平等基金，并利用基金向低购买力省的供电公司提供补贴，调节和修正区域电力市场，解决市场失灵问题。具体表现在以下两个方面：

1) “税收”。在竞争性电力市场中，具有低成本优势的发电机组与其他机组相比，在发电成本上的差别可以产生差异性电力租金^[6]。以不同地理位置(位于不同省，但具有相同的发电方式和机组类型)的机组之间因成本差别而产生的差异性电力租金作为税源，通过向低成本省的发电机组征税，建立区域电力平等基金，可以对高成本省的发电机组予以适当保护，解决发电机组竞争公平和竞价起跑线问题，实现在区域电力市场中不同省的同类型机组之间的公平竞争。

2) “补贴”。利用区域电力平等基金向低购买力省的供电公司提供补贴，使供电公司充分考虑本地区电力用户的电价承受能力，制定基于用户电价承受能力的销售电价，并以此销售电价向用户提供电力电能服务，同时开展电力普遍服务，规避欠发达省的销售电价上涨给电力用户带来的市场风险。

假设电力监管机构对低成本省的发电商*i*征收的基金税税率为 t_i ，为从量税；向低购买力省的供电公司提供补贴的系数为 r_j ，为从量补贴； t_i 和 r_j 由电力监管机构根据有关规则事先确定，属于已知量。

根据式(1)和式(2)分别推导出，此时发电商的边际成本函数为：

$$MC'_i(p'_i) = \alpha_i c_0 + c_1 p'_i + t_i \quad 0 \leq p'_i \leq \bar{p}_i \quad (12)$$

发电商的发电成本函数为：

$$C'_i(p'_i) = \alpha_i c_0 p'_i + 0.5 c_1 p'^2_i + t_i p'_i \quad 0 \leq p'_i \leq \bar{p}_i \quad (13)$$

式中： p'_i 为此时的发电商出力。

根据式(3)和式(4)分别推导出，此时供电公司边

际运营收益为：

$$MS'_j(w'_j) = \beta_j s_0 + s_1 w'_j + r_j \quad 0 \leq w'_j \leq \bar{w}_j \quad (14)$$

供电公司运营收益为：

$$S'_j(w'_j) = \beta_j s_0 w'_j + 0.5 s_1 w'^2_j + r_j w'_j \quad 0 \leq w'_j \leq \bar{w}_j \quad (15)$$

式中： w'_j 为此时的供电公司购电功率。

此时的单时段市场交易模型为：

$$\max \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [S'_j(w'_j) - C'_i(p'_i) - k_{ji} x'_{ji}] \quad (16)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^m p'_i = \sum_{j=1}^n w'_j \quad \forall i, j \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^n x'_{ji} = p'_i \quad \forall i \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^m x'_{ji} = w'_j \quad \forall j \quad (19)$$

$$0 \leq p'_i \leq \bar{p}_i \quad \forall i \quad (20)$$

$$0 \leq w'_j \leq \bar{w}_j \quad \forall j \quad (21)$$

$$x'_{ji} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (22)$$

式中： x'_{ji} 为此时的供电公司*j*向发电商*i*购买的功率。

2 算例分析

假设某区域电力市场为五省系统，共有4个独立发电商、5个独立供电公司参与日前市场竞价交易。根据电力监管机构事先确定的有关规则，需要向低成本省(1省)的发电商征收基金税，向低购买力省(4、5两省)的供电公司提供补贴，基金税税率 t_i 和补贴系数 r_j 属于已知量。在某省某单时段，仅有单一的发电商或供电公司参与竞价交易，不存在省内就地平衡。计算时间段为1h，所以机组出力和交易电量的单位均用MWh表示。以上简化是为了分析方便直观，不影响结论的科学性。相关参数详见表1~表3。

表1 发电商参数

Tab.1 Parameters of the generators

发电商 <i>i</i>	代号	α_i	$c_0/\text{元}\cdot(\text{MW}\cdot\text{h})^{-1}$	$C_1/\text{元}\cdot(\text{MW}\cdot\text{h})^{-2}$	$t_i/\text{元}\cdot(\text{MW}\cdot\text{h})^{-1}$	\bar{p}_i/MW	所在省
1	G1	0.85	17.5	1.05	12	120	1
2	G2	0.86	17.5	1.05	11	100	1
3	G3	0.90	17.5	1.05	8	90	1
4	G6	0.94	17.5	1.05	0	150	2

表 2 供电公司参数

Tab.2 Parameters of the power supply companies

供电公司 j	代号	β_j	$S_0/\text{元}\cdot(\text{MW}\cdot\text{h})^{-1}$	$S_1/\text{元}\cdot(\text{MW}\cdot\text{h})^{-2}$	$r_j/\text{元}\cdot(\text{MW}\cdot\text{h})^{-1}$	\bar{w}_j/MW	所在省
1	L12	0.95	120	-0.30	0	95	3
2	L50	0.93	120	-0.30	0	100	3
3	L9	0.85	120	-0.30	13	95	4
4	L10	0.87	120	-0.30	10	85	4
5	L8	0.88	120	-0.30	8	90	5

表 3 各联络线的输电价格

Tab.3 The transmission prices of the contact lines

j	$k_{ji}/\text{元}\cdot(\text{MWh})^{-1}$			
	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$
$j=1$	150	150	150	90
$j=2$	150	150	150	90
$j=3$	160	160	160	100
$j=4$	160	160	160	100
$j=5$	170	170	170	80

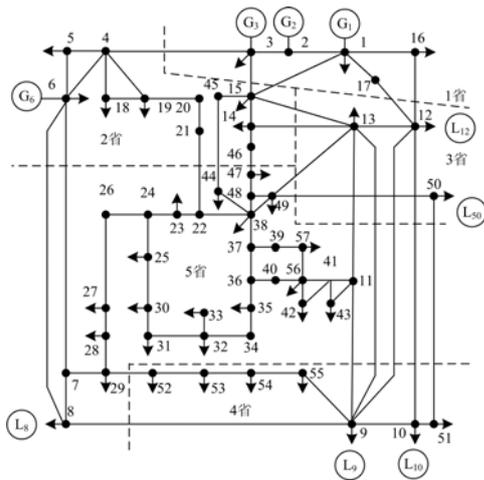


图 1 修改的 IEEE-57 节点电力系统
Fig. 1 Modified IEEE 57-node system

本文采用文献[7]中修改的 IEEE-57 节点电力系统作为区域电力市场交易的网络架构, 用以模拟 5 个省的区域, 如图 1 所示。

本文采用遗传算法求解市场交易模型, 求得电力监管机构向发电商征收的基金税总额为 3 216.61 元, 向供电公司提供的补贴总额为 2 583.03 元, 税收和补贴规则可以根据实际需要进行调整。

求得采取市场调节措施前后各发电商出力 and 供电公司购电功率值, 如表 4。

表 4 市场出清结果

Tab. 4 Results of market clearing

市场成员	市场调节之前		市场调节之后	
	P_i/MW	W_j/MW	P_i'/MW	W_j'/MW
G1	116.507		117.893	
G2	99.989		98.981	
G3	89.982		89.138	
G6	119.102		119.932	
L12		86.270		89.139
L50		91.290		88.192
L9		88.017		87.175
L10		77.536		79.123
L8		82.467		82.315
Σ	425.580	425.580	425.944	425.944

表 5 发电商出力对比

Tab.5 Compared to the generators' output

发电商	市场调节之前		市场调节之后		出力增量 /MW	出力增加率/%	市场占有率增量/%
	出力 /MW	市场占有率/%	出力 /MW	市场占有率/%			
高成本省的 1 个发电商: G6	119.102	28.0	119.932	28.2	0.830	0.70	0.2
低成本省的 3 个发电商: G1,G2,G3	306.478	72.0	306.012	71.8	-0.466	-0.15	-0.2
全区域	425.580	100	425.944	100	0.364	0.09	0

表 5 表明, 采取市场调节措施之后, 高成本省 (2 省) 的发电商(G6)出力比市场调节之前增加了

0.830 MW, 提高了 0.70%, 市场占有率增加了 0.2 个百分点; 低成本省(1 省)的 3 个发电商总出力比市

场调节之前减少了 0.466 MW, 降低了 0.15%, 市场占有率减少了 0.2 个百分点。因此, 采取市场调节

措施在一定程度上增强了高成本省的发电商市场竞争力, 实现了不同省的同类型机组之间的公平竞争。

表 6 供电公司购电功率对比

Tab.6 Compared to the power supply companies' purchase of electric power

供电公司	市场调节之前		市场调节之后		购买功率	购买功率	市场占有率
	购买功率 /MW	市场占 有率/%	购买功率 /MW	市场占有 率/%	增量/MW	增加率/%	增量/%
高购买力省的 2 个供电公司: L12, L50	177.560	41.7	177.331	41.6	-0.229	-0.13	-0.1
低购买力省的 3 个供电公司: L9, L10, L8	248.020	58.3	248.613	58.4	0.593	0.24	0.1
全区域	425.580	100.0	425.944	100	0.364	0.09	0

表 6 表明, 采取市场调节措施之后, 高购买力省(3 省)的 2 个供电公司(L12, L50)购电功率比市场调节之前减少了 0.229 MW, 降低了 0.13%, 市场占有率减少了 0.1 个百分点; 低购买力省(4、5 两省)的 3 个供电公司购电功率比市场调节之前增加了 0.593 MW, 提高了 0.24%, 市场占有率增加了 0.1 个百分点。因此, 采取市场调节措施在一定程度上增强了低购买力省的供电公司市场竞争力。

3 结语

本文针对区域内各省经济发展不平衡和省间电价存在较大差异的情况, 分别分析了市场调节前后的区域电力市场交易问题。分析表明: 通过采取“税收-补贴”的市场调节措施, 可以在一定程度上保护高成本省的发电商和低购买力省的供电公司市场竞争力, 实现不同省的市场主体之间的公平竞争, 有利于打破省间壁垒, 建立统一的区域电力市场竞价平台。

参考文献

[1] 国家电力监管委员会. 关于区域电力市场建设的指导意见[Z]. 发电监市场[2003]21 号, 2003.

[2] 夏清, 彭涛, 江健健. 兼顾经济协调发展和电网安全的区域共同市场[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(19): 1-5.
XIA Qing, PENG Tao, JIANG Jian-jian. Regional Layered Electricity Market Considering Economical Coordination and Power Grid Security[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(19): 1-5.

[3] 庇古. 福利经济学[M]. 北京: 商务印书馆, 2006.
PI Gou. Welfare Economics[M]. Beijing: The Commercial Press, 2006.

[4] 王承民, 袁智强, 侯志俭. 电力市场的均衡与失灵问题探讨[J]. 电网技术, 2004, 28(13): 65-69.
WANG Cheng-min, YUAN Zhi-qiang, HOU Zhi-jian. A Discussion on Power Market Equilibrium and it's Failures[J]. Power System Technology, 2004, 28(13): 65-69.

[5] 谢俊, 陈星莺, 廖迎春. 激励性输配分开电力市场竞价机制的建模[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(23): 25-31.
XIE Jun, CHEN Xing-ying, LIAO Ying-chen. Research on Modeling the Incentive Bidding Mechanism for Transmission and Distribution Separated Electricity Markets[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(23): 25-31.

[6] 陈秀山. 西电东送工程区域效应评价[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
CHEN Xiu-shan. Engineering Evaluation of the Effects of Electricity from Western to Eastern Regions[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2007.

[7] 夏清, 孙正运. 考虑交易成本的区域市场撮合交易模型[J]. 电网技术, 2005, 29(17): 1-4.
XIA Qing, SUN Zheng-yun. Application of High-low Match Methods to Regional Electricity Market Considering Transaction Costs[J]. Power System Technology, 2005, 29(17): 1-4.

收稿日期: 2009-06-18; 修回日期: 2009-07-24

作者简介:

王丽萍 (1956-), 女, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为水电能源经济、电力市场与水电站经济运行;

李新武 (1976-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为电力市场理论及应用; E-mail: 836472026@qq.com

谢维 (1985-), 女, 博士研究生, 主要研究方向为水火电调度自动化、水电能源开发与利用。